

Kesan Antropogenik Terhadap Kualiti Air di Lembangan Sungai Marang, Perairan Selatan Laut China Selatan

(Anthropogenic Effects on Water Quality in Marang River Basin,
Southern Coastal Water of the South China Sea)

SUHAIMI SURATMAN* & NORHAYATI MOHD TAHIR

ABSTRAK

Satu kajian kualiti air yang melibatkan pengukuran parameter seperti oksigen terlarut (DO), pH, permintaan oksigen biokimia (BOD), permintaan oksigen kimia (COD), jumlah pepejal terampai (TSS) dan nutrien terlarut telah dijalankan di lembangan Sungai Marang bermula dari bulan Julai-September 2001. Lapan stesen pensampelan telah dipilih yang merangkumi sungai utama dan cabangnya. Hasil kajian menunjukkan julat nilai untuk DO, pH, BOD, COD dan TSS masing-masing ialah 3.5-7.5 mg/L, 5.9-8.2, 0.4-1.3 mg/L, 4.0-50.2 mg/L dan 0.3-20.4 mg/L. Kepekatan ortofosfat, jumlah fosfat terlarut, nitrit, nitrat, ammonia dan jumlah nitrogen terlarut masing-masing adalah dalam julat 27-62 µg P/L, 55-105 µg P/L, 0.5-4.1 µg N/L, 65-426 µg N/L, 16-161 µg N/L dan 128-787 µg N/L. Julat kepekatan klorofil-a pula ialah 4.06-7.75 µg/L. Kajian menunjukkan taburan nutrien dipengaruhi oleh kesan antropogenik. Berdasarkan kepada Piawai Interim Kualiti Air Kebangsaan, kebanyakan kepekatan nutrien boleh dikelaskan dalam Kelas I dan II. Mengikut indeks kualiti air Jabatan Alam Sekitar, Sungai Marang berada dalam Kelas I dengan status bersih.

Kata kunci: Indeks Kualiti Air (WOI); kualiti air; lembangan Sungai Marang; perairan selatan Laut China Selatan (Malaysia); Piawai Interim Kualiti Air Kebangsaan (INWQS)

ABSTRACT

A water quality study which involved the measurement of parameters such as dissolved oxygen (DO), pH, biological oxygen demand (BOD), chemical oxygen demand (COD), total suspended solids (TSS) and dissolved nutrients has been carried out in Marang River basin, Terengganu from July-September 2001. Eight sampling stations were chosen to represent the main river and its tributaries. The results showed that the range of values for DO, pH, BOD, COD and TSS were 3.5-7.5 mg/L, 5.9-8.2, 0.4-1.3 mg/L, 4.0-50.2 mg/L and 0.3-20.4 mg/L, respectively. The concentration of orthophosphate, total dissolved phosphate, nitrite, nitrate, ammonia and total dissolved nitrogen were in the range of 27-62 µg P/L, 55-105 µg P/L, 0.5-4.1 µg N/L, 65-426 µg N/L, 16-161 µg N/L and 128-787 µg N/L, respectively. The range of concentration of chlorophyll-a was 4.06-7.75 µg/L. The study showed that most of the nutrient concentrations were affected by the anthropogenic effects. Based on the Interim National Water Quality Standards, most of the nutrient concentrations can be classified in Class I and II. According to Water Quality Index Department of the Environment, Marang River basin was in Class I with the status of clean.

Keywords: Marang River basin; National Interim Water Quality Standards (INWQS); southern coastal water of the South China Sea (Malaysia); water quality; Water Quality Index (WQI)

PENDAHULUAN

Pencemaran sungai adalah salah satu isu yang sering diperkatakan di negara ini. Ini kerana sungai merupakan punca utama yang membekalkan sumber air kepada kebanyakan aktiviti manusia seperti untuk kegunaan domestik, perindustrian dan pertanian. Pencemaran biasanya berlaku disebabkan oleh peningkatan populasi penduduk, perkembangan industri, kegiatan pertanian, pembangunan di lembangan sungai itu sendiri dan aktiviti-aktiviti manusia yang boleh merosakkan ekosistem akuatik (Lim et al. 2001; Mazlin et al. 2001; Suratman et al. 2005, 2009). Pembangunan yang pesat bukan saja menghasilkan banyak bahan buangan ke dalam persekitaran akuatik,

malah ia juga boleh mengubah keseimbangan sistem dalam ekologi.

Menurut laporan yang disediakan oleh Jabatan Alam Sekitar Malaysia, didapati daripada 902 stesen pemantauan di lembangan sungai seluruh Malaysia, sebanyak 37% adalah dalam keadaan bersih, 49% sedikit tercemar dan selainnya dalam keadaan tercemar (JAS 1999). Umumnya, stesen-stesen yang berada di bahagian hulu sungai berada dalam keadaan bersih dan kualitinya semakin merosot di bahagian hilir sungai. Menurut laporan itu lagi, aktiviti-aktiviti utama yang menyebabkan fenomena kemerosotan kualiti air sungai ialah aktiviti kumbahan domestik, industri buatan, penternakan khinzir dan industri berasaskan

pertanian. Salah satu punca utama yang menyebabkan pencemaran sungai adalah disebabkan oleh peningkatan kandungan nutrien. Nutrien yang terdiri daripada sebatian fosforus dan nitrogen adalah elemen yang amat diperlukan untuk pertumbuhan tumbuh-tumbuhan. Namun, kandungan nutrien berlebihan boleh membawa kepada pertumbuhan alga yang berlebihan. Pertumbuhan alga ini seterusnya akan menyebabkan fenomena eutrofikasi (Jaworski 1981).

Menyedari pentingnya kualiti air sungai dipantau terutamanya di negeri Terengganu, maka satu siri pemantauan telah dijalankan di semua lembangan sungai di negeri itu oleh Jabatan Sains Kimia, Universiti Malaysia Terengganu. Berbeza dengan pemantauan yang dilakukan oleh Jabatan Alam Sekitar Malaysia yang cuma melibatkan stesen pemantauan yang terhad di lembangan sungai yang sama (JAS 1999), kajian yang dilakukan ini melibatkan 8 stesen pemantauan bertujuan untuk mendapatkan data yang lebih menyeluruh. Kertas ini melaporkan kajian yang telah dibuat di lembangan Sungai Marang, Terengganu untuk menentukan kualiti air di sungai tersebut serta faktor yang mempengaruhinya. Kajian ini adalah penting kerana kualiti air di lembangan sungai ini akan turut mempengaruhi kualiti air pesisir pantai Laut China Selatan. Pengiraan dan pengelasan kualiti air dibuat berdasarkan Indeks Kualiti Air (IKA) oleh Jabatan Alam Sekitar Malaysia melalui pengukuran enam parameter utama iaitu oksigen terlarut (DO), pH, permintaan oksigen biokimia (BOD), permintaan oksigen kimia (COD), jumlah pepejal terampai (TSS) dan ammonia. Tahap kepelbagaian penggunaan air di sungai tersebut juga dikelaskan mengikut Piawai Interim Kualiti Air Kebangsaan (INWQS). Di samping itu, kepekatan kandungan nutrien berasaskan fosforus dan nitrogen dan pengaruh nutrien-nutrien tersebut ke atas pertumbuhan alga juga ditentukan. Dalam kajian ini, pertumbuhan alga diukur melalui kepekatan klorofil-a yang terkandung dalam tumbuhan tersebut.

BAHAN DAN KAEDAH

STESEN PENSAMPELAN

Sebanyak 8 buah stesen pensampelan telah dipilih di lembangan Sungai Marang, Terengganu (Rajah 1). Daripada jumlah tersebut, 6 buah stesen pensampelan (M1, M2, M3, M4, M5, M6) terletak di sungai utama sementara 2 buah stesen lagi terletak di cabangnya iaitu di Sungai Temala (M7) dan Sungai Chador (M8). Dalam kajian ini, sebanyak 5 kali pensampelan telah dijalankan iaitu antara bulan Julai hingga September 2001.

PARAMETER KAJIAN

Parameter-parameter kajian melibatkan pengukuran parameter DO, pH, BOD, COD, TSS, ammonia, nutrien dan klorofil-a. Pengukuran dan pengambilan sampel air dilakukan pada kedalaman 1 meter di bawah permukaan air. Namun, pada kawasan yang cetek terutamanya di

kawasan pensampelan yang terletak di hulu sungai, sampel diambil pada permukaan air tersebut. Parameter DO dan pH diukur secara *in situ* menggunakan peralatan YSI *Multiparameter*. Alat ini telah ditentu ukur terlebih dahulu sebelum kerja lapangan dijalankan. Manakala sampel air untuk penentuan parameter-parameter yang lain diambil dengan menggunakan pensampel 'Van Dorn'. Nilai BOD, COD, TSS dan klorofil-a telah ditentukan di makmal berdasarkan kaedah APHA (1995). Umumnya, nilai BOD ditentukan berdasarkan nilai DO sebelum dan selepas sampel diinkubasikan dalam inkubator pada suhu 20°C manakala nilai COD adalah berdasarkan kaedah refluks selama 2 jam dalam medium berasid menggunakan agen pengoksidaan iaitu kalium dikromat. Kepekatan TSS pula ditentukan secara kaedah yang melibatkan penurasan melalui kertas membran selulos asetat yang mempunyai saiz liang berdiameter 0.45 µm, pengeringan sisa penuras pada suhu 103-105°C dan penentuan berat selepas proses pengeringan tersebut.

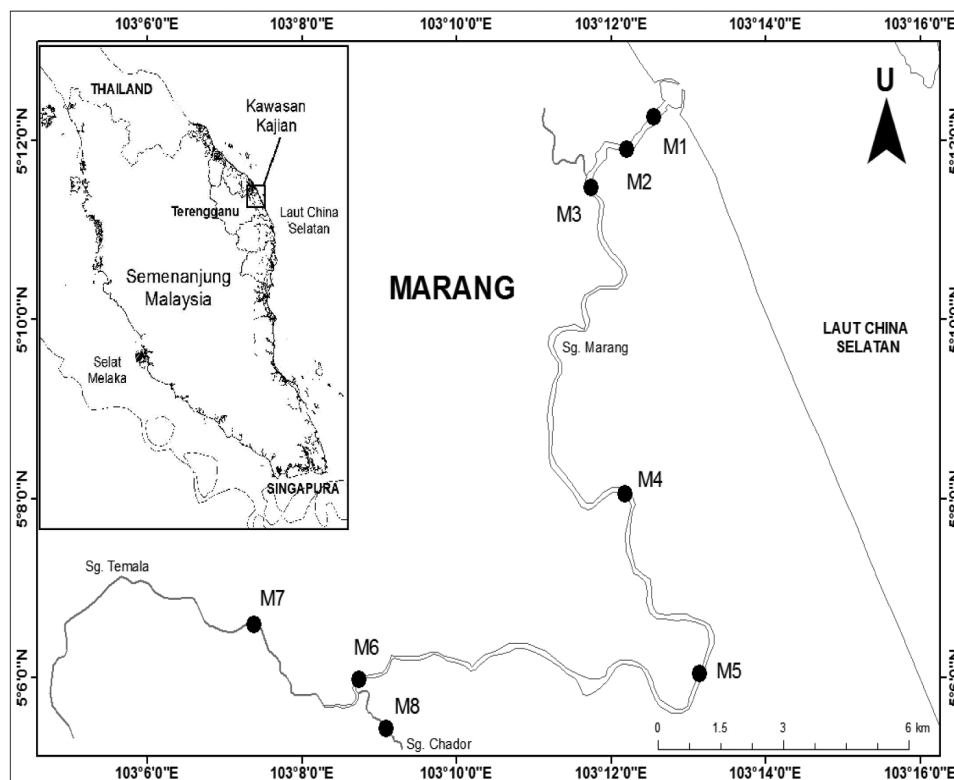
Sampel untuk penentuan klorofil-a dituras menggunakan kertas membran selulos asetat yang sama dengan penentuan TSS. Klorofil-a kemudiannya diekstrak semalaman di dalam aseton dan serapan kemudiannya diukur menggunakan spektrofotometer model Shimadzu 1601 pada jarak gelombang (λ) 750, 664, 647 dan 630 nm. Kepekatan klorofil-a ($\lambda=750$) kemudian dikira setelah menolak sumbangan daripada kekeruhan sampel ($\lambda=664$), klorofil-b ($\lambda=647$) dan klorofil-c ($\lambda=630$) dengan menggunakan persamaan seperti di dalam APHA (1995).

Untuk penentuan nutrien terlarut, sampel air telah dituras dengan menggunakan penapis membran jenis yang sama dalam penentuan TSS dan klorofil-a dan disimpan pada suhu -20°C sehingga analisis terhadap nutrien terlarut dijalankan. Nutrien yang dikaji ialah ortofosfat, jumlah fosfat terlarut (TDP), nitrit, nitrat, ammonia dan jumlah nitrogen terlarut (TDN). Analisis nutrien dilakukan berdasarkan kaedah kolorimetrik (Grasshoff et al. 1983). Penentuan ortofosfat berdasarkan kaedah molibdenum biru, nitrit berdasarkan kaedah pewarna azo merah jambu, nitrat berdasarkan penurunan oleh turus Cu-Cd dan hasilnya ditentukan mengikut kaedah dalam nitrit dan ammonia berdasarkan kaedah indofenol biru. Manakala untuk penentuan TDP dan TDN, sampel dihadamkan terlebih dahulu menggunakan kalium persulfat beralkali dan hasil yang terbentuk masing-masing ditentukan sama seperti penentuan ortofosfat dan nitrat. Parameter nutrien yang dikaji telah ditentukan secara triplikasi dan peratus koefisien variasi (CV) untuk setiap parameter adalah < 5%.

HASIL DAN PERBINCANGAN

KELARUTAN OKSIGEN

Daripada kajian yang dijalankan, didapati julat kandungan DO adalah antara 3.5-7.5 mg/L (Rajah 2). Analisis varians (ANOVA) menunjukkan terdapatnya perbezaan yang bererti ($p<0.05$) antara stesen-stesen pensampelan. Umumnya,



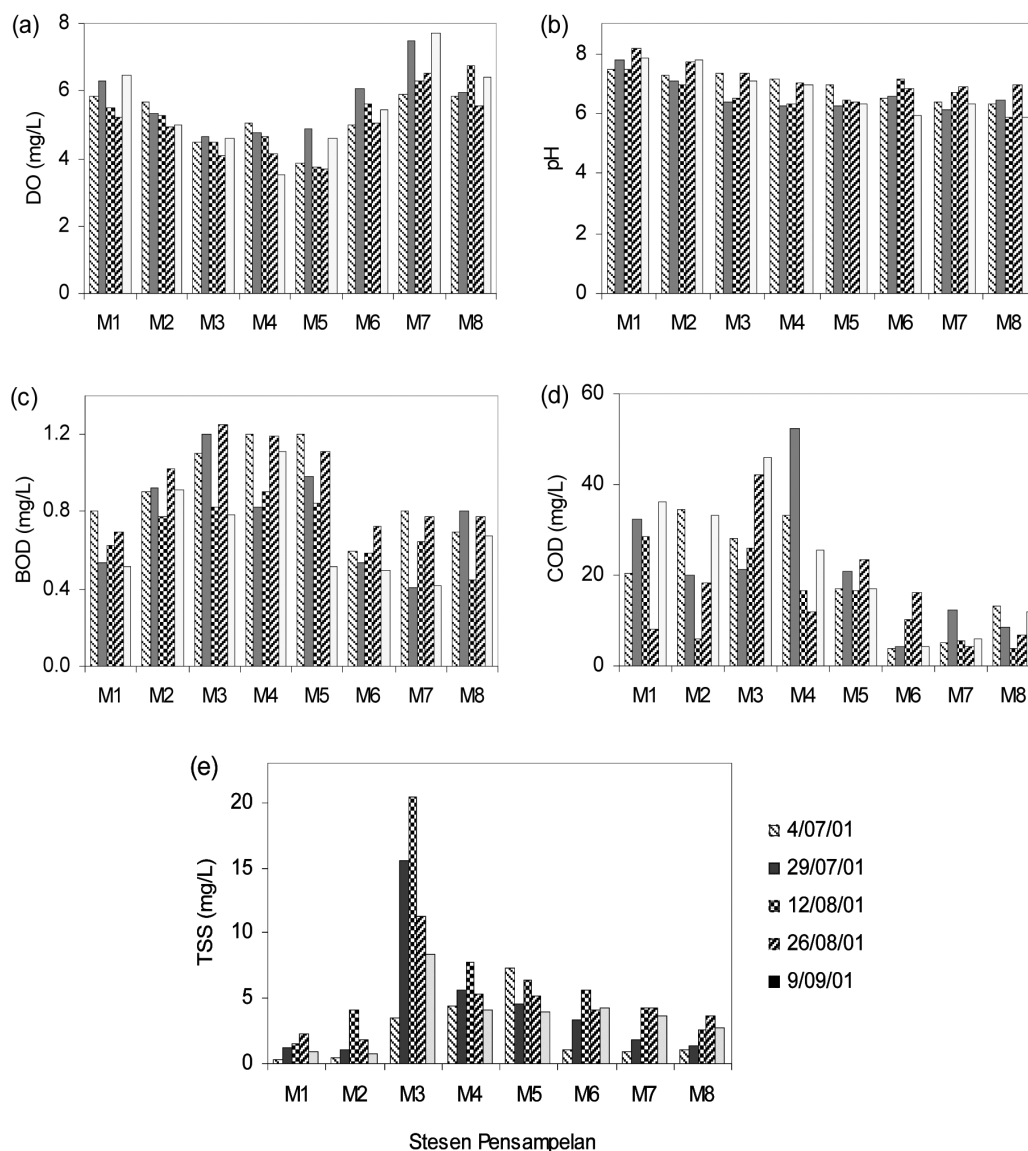
RAJAH 1. Stesen pensampelan di lembangan Sungai Marang, Terengganu

didapati stesen-stesen yang terletak di pertengahan kawasan kajian (M3, M4 dan M5) menunjukkan kandungan DO yang rendah jika dibandingkan dengan stesen-stesen di hilir (M1 dan M2) dan hulu (M6, M7 dan M8) lembangan sungai. Berdasarkan kepada INWQS (Jadual 1), stesen-stesen M3, M4 dan M5 berada dalam kelas III sementara stesen-stesen lain dalam kelas II. Terdapat banyak faktor yang menyumbang kepada pengurangan kandungan DO di stesen M3, M4 dan M5. Stesen-stesen tersebut mempunyai penempatan penduduk yang tinggi yang terletak berhampiran dengan tebing sungai. Di samping itu terdapatnya aktiviti-aktiviti penternakan ikan dalam sangkar terutamanya di stesen M4. Adalah dipercayai hasil buangan daripada aktiviti-aktiviti domestik dan penternakan ikan menyebabkan kandungan DO menjadi rendah. Umumnya, hasil buangan ini mengandungi kandungan organik yang tinggi. Proses pengoksidaan bahan-bahan organik tersebut memerlukan oksigen dan akan menyebabkan kandungan oksigen terlarut di dalam air menjadi rendah. Fenomena yang sama dengan kepekatan oksigen terlarut berkurangan disebabkan oleh kumbahan domestik dan penternakan ikan turut diperhatikan di kawasan kajian yang lain (Lim et al. 2001; Mazlin et al. 2001; Suratman et al. 2005, 2009). Terdapat juga kajian yang menunjukkan kepekatan TSS yang tinggi boleh menyebabkan kandungan DO menjadi rendah (Brewer et al. 1977; Fisher et al. 1982; Suratman et al. 1999). Kajian yang dijalankan oleh Fisher et al. (1982) menunjukkan berlakunya proses nyahoksigen antara permukaan

sedimen (TSS) di dalam air. Kajian mereka membuktikan bahawa sedimen adalah penyumbang terbesar kepada penyingkiran oksigen di dalam air. Brewer et al. (1977) pula telah melaporkan bahawa TSS yang dibawa oleh sungai mempunyai kehendak oksigennya sendiri. Dalam kajian yang telah dilakukan di Sungai Marang, didapati kepekatan TSS adalah secara relatifnya lebih tinggi di stesen M3 jika dibandingkan dengan stesen kajian yang lain. Adalah dicadangkan bahawa antara faktor yang berkemungkinan menyumbang kepada pengurangan DO di stesen M3 adalah disebabkan oleh kepekatan TSS yang tinggi. Analisis korelasi yang dijalankan menunjukkan DO mempunyai hubungan yang sederhana kuat dengan TSS ($r=0.5014$; $p<0.05$).

pH

Julat nilai pH yang didapati dalam kawasan kajian ialah 5.9-8.2 (Rajah 2). Hasil daripada ANOVA menunjukkan tidak terdapat perbezaan yang bererti ($p>0.05$) untuk nilai pH antara stesen-stesen pensampelan. Hampir semua stesen menunjukkan bahawa pH berada dalam kelas I mengikut pengelasan INWQS (Jadual 1). Daripada data-data pH yang direkodkan menunjukkan stesen-stesen yang terletak di hilir sungai mempunyai nilai pH yang lebih tinggi berbanding dengan stesen-stesen di hulu sungai. Pengurangan nilai pH ini daripada hilir ke hulu sungai sebahagian besarnya disebabkan oleh pengaruh air laut yang mempunyai pH yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan pH air tawar (David 1972; Suratman et al. 1999).



RAJAH 2. Data bagi parameter (a) DO, (b) pH, (c) BOD, (d) COD dan (e) TSS di kawasan kajian

JADUAL 1. Pengelasan kualiti air berdasarkan INWQS

Parameter	Kelas					
	Unit	I	IIA/IIB	III	IV	V
DO	mg/L	7	5-7	3-5	<3	<1
pH		6.5-8.5	6-9	5-9	5-9	-
BOD	mg/L	1	3	6	12	>12
COD	mg/L	10	25	50	100	>100
TSS	mg/L	25	50	150	300	300
Ammonia	mg/L	0.1	0.3	0.9	2.7	>2.7
P	mg/L	Paras	0.2	0.1	-	-
NO ₂	mg/L	semula jadi	0.4	0.4 (0.03)	-	-
NO ₃	mg/L		7	-	5	-

Kelas I	Pemeliharaan untuk persekitaran semula jadi Bekalan air I – secara pratiknya tidak memerlukan rawatan Perikanan I – untuk spesies akuatik yang sangat sensitif
Kelas IIA	Bekalan air II – memerlukan rawatan konvensional Perikanan II – untuk spesies yang sensitif
Kelas IIB	Sesuai untuk aktiviti rekreasi yang melibatkan sentuhan badan
Kelas III	Bekalan air III – memerlukan rawatan yang intensif Perikanan III – untuk minuman binatang ternakan
Kelas IV	Pengairan
Kelas V	Selain daripada aktiviti di atas

Keputusan kajian pada stesen M3, M4 dan M5 sepatutnya menunjukkan nilai pH yang lebih rendah berbanding dengan stesen-stesen pensampelan yang lain. Ini disebabkan berlakunya penguraian bahan-bahan organik dari aktiviti-aktiviti domestik dan penternakan ikan yang akan menyumbang kepada pengurangan nilai pH di dalam air (Suratman et al. 2005, 2009). Namun begitu, fenomena ini tidak diperhatikan di stesen-stesen tersebut kerana nilai pHnya hampir sama dengan stesen-stesen yang terletak di hulu sungai. Faktor-faktor yang menyebabkan nilai pH hampir sama masih belum diketahui dan memerlukan kajian yang lebih lanjut.

PERMINTAAN OKSIGEN BIOKIMIA

Rajah 2 menunjukkan bahawa julat bacaan BOD berada antara 0.4 hingga 1.3 mg/L iaitu dalam kelas I dan II berdasarkan INWQS (Jadual 1). Berdasarkan analisis ANOVA yang dilakukan untuk BOD menunjukkan terdapatnya perbezaan yang bererti ($p < 0.05$) antara stesen-stesen pensampelan tersebut. Secara keseluruhannya, stesen-stesen M2, M3, M4 dan M5 mempunyai nilai bacaan BOD yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan stesen-stesen pensampelan yang lain. Nilai BOD memberi gambaran bahawa jumlah bahan organik dalam air yang boleh diuraikan oleh mikroorganisme kerana proses penguraian ini memerlukan oksigen. Nilai BOD yang tinggi bermakna terdapatnya banyak bahan organik yang boleh diuraikan oleh mikroorganisma dan lebih banyak oksigen yang digunakan. Stesen-stesen yang mempunyai nilai bacaan BOD yang secara relatifnya lebih tinggi adalah besar kemungkinan disebabkan oleh kandungan bahan organik yang tinggi dalam pembuangan sisa-sisa domestik dan kumbahan daripada penternakan ikan di stesen-stesen tersebut (Lim et al. 2001; Mazlin et al. 2001; Suratman et al. 2005, 2009).

PERMINTAAN OKSIGEN KIMIA

Sepanjang tempoh kajian, julat nilai kepekatan COD untuk semua stesen pensampelan ialah 4.0-50.2 mg/L (Rajah 2). Hasil daripada ANOVA menunjukkan terdapatnya perbezaan yang bererti ($p < 0.05$) antara stesen-stesen pensampelan untuk nilai COD. Untuk kebanyakan pensampelan, stesen-stesen yang terletak di hilir sungai iaitu M1 hingga M5 berada dalam kelas II dan III sementara stesen-stesen yang lain dalam kelas I berdasarkan INWQS (Jadual 1). Secara amnya, COD menunjukkan nilai kepekatan yang semakin bertambah daripada stesen M1 hingga ke stesen M4 dan nilainya berkurangan hingga ke stesen M8. Nilai kepekatan COD yang tinggi pada stesen M1 hingga stesen M4 berkemungkinan disebabkan oleh kemasukan pencemar organik yang berpunca daripada kumbahan domestik penduduk dan penternakan ikan dalam sangkar seperti yang turut diperhatikan oleh Lim et al. (2001), Mazlin et al. (2001) dan Suratman et al. (2005, 2009) di kawasan kajian mereka. Penentuan COD digunakan secara meluas untuk menentukan kepekatan sisa-sisa kumbahan dan digunakan terutamanya untuk campuran pencemar

seperti kumbahan domestik, industri dan biologi (Silva & Sacomani 2001). Nilai COD yang jauh lebih tinggi berbanding dengan BOD menunjukkan bahawa kebanyakan bahan organik di kawasan kajian Sungai Marang terdiri daripada bahan tak organik yang juga boleh dioksidakan. Keputusan ini juga bersesuaian dengan kawasan-kawasan kajian lain yang turut menunjukkan nilai COD yang tinggi berbanding dengan BOD (Lim et al. 2001; Mazlin et al. 2001; Suratman et al. 2009).

JUMLAH PEPEJAL TERAMPAI

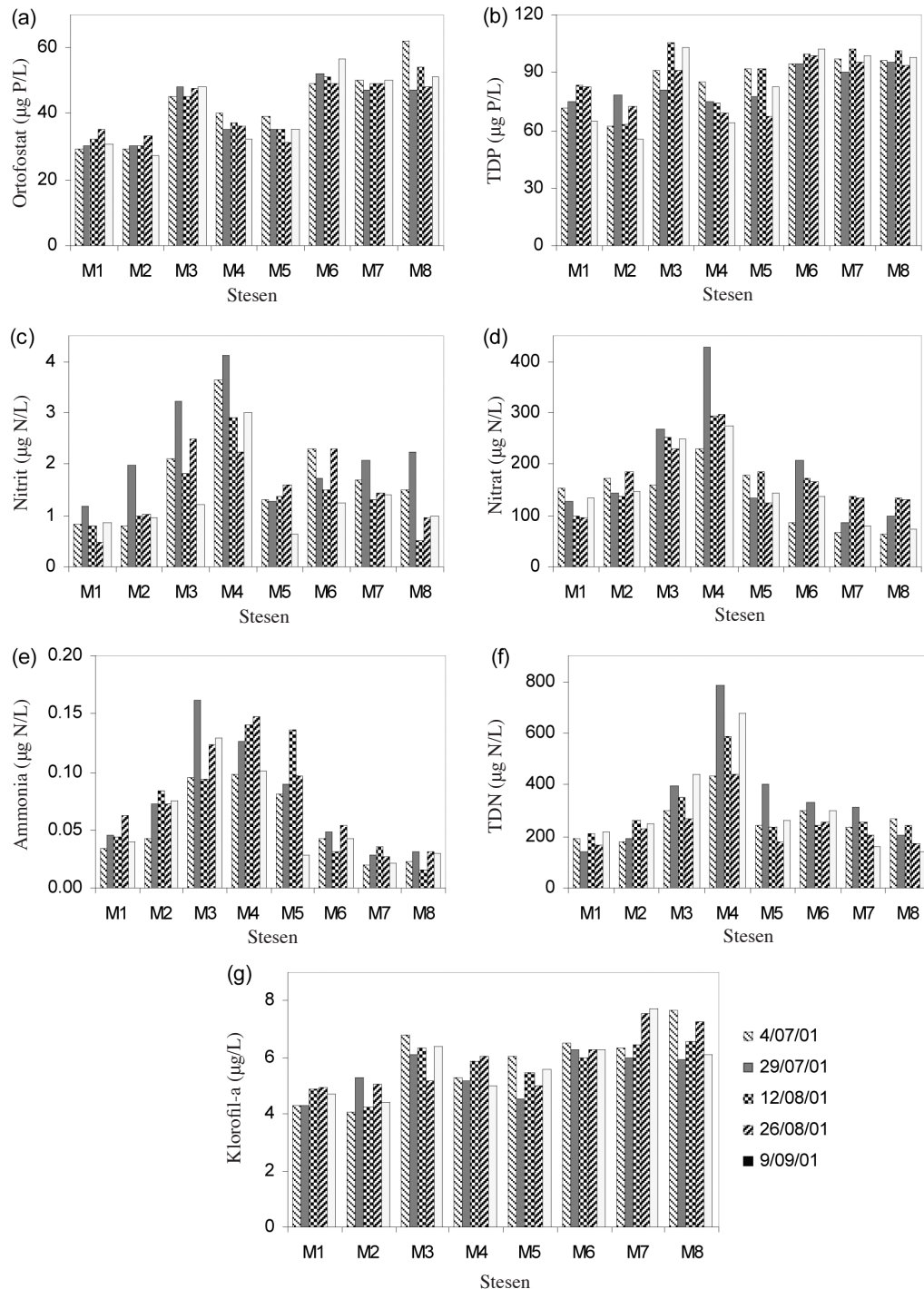
Kepekatan TSS yang direkodkan untuk semua stesen pensampelan adalah dalam julat 0.3-20.4 mg/L (Rajah 2). Mengikut INWQS, julat yang diperoleh ini berada dalam kelas I (Jadual 1). Berdasarkan kepada analisis ANOVA, terdapatnya perbezaan yang bererti ($p < 0.05$) antara stesen-stesen pensampelan. Arus sungai memainkan peranan yang penting dalam menentukan kepekatan TSS. Arus yang kuat akan menyebabkan berlakunya gangguan kepada sedimen di dasar sungai. Di samping itu, ia juga akan menyebabkan hakisan di tebing sungai. Kedua-dua faktor ini akan menyumbang kepada kepekatan TSS yang tinggi. Daripada kajian, didapati kepekatan TSS adalah rendah di stesen M1 dan M2 jika dibandingkan dengan stesen-stesen yang lain. Ini disebabkan kedudukan kedua-dua stesen tersebut yang terletak berhampiran dengan muara sungai yang secara relatifnya mempunyai aliran air sungai yang lebih perlahan jika dibandingkan dengan stesen-stesen di hulu sungai. Berbanding dengan stesen-stesen pensampelan yang lain, stesen M3 mencatatkan kepekatan TSS yang amat tinggi untuk kebanyakan pensampelan yang dijalankan. Ini disebabkan kedudukan stesen tersebut yang terletak berhampiran dengan kilang pembuatan batu-bata. Aktiviti pengorekan tanah di kawasan sekitar kilang tersebut besar kemungkinan telah menyebabkan nilai TSS menjadi tinggi. Namun begitu, adalah dijangkakan kepekatan TSS adalah lebih tinggi daripada yang sepatutnya tetapi disebabkan oleh pencairan oleh air sungai, nilai TSS adalah rendah dan masih berada dalam kelas I.

NUTRIEN FOSFAT

Kepekatan ortofosfat dan jumlah fosfat terlarut masing-masing dalam julat 27-62 $\mu\text{g P/L}$ dan 55-105 $\mu\text{g P/L}$ (Rajah 3). Keputusan ujian ANOVA menunjukkan terdapatnya perbezaan yang bererti ($p < 0.05$) antara stesen-stesen pensampelan. Nilai kepekatan fosfat yang didapati di kawasan kajian ini adalah jauh lebih rendah jika dibandingkan dengan kepekatan ortofosfat yang diukur di lembangan Sungai Labu (Lim et al. 2001) dan lembangan Sungai Langat (Mazlin et al. 2001) yang masing-masing merekodkan julat kepekatan 13-1403 $\mu\text{g P/L}$ dan 3-1390 $\mu\text{g P/L}$. Kepekatan ortofosfat yang tinggi di kedua-dua kawasan kajian tersebut adalah daripada aktiviti perindustrian dan pembuangan sisa domestik yang tidak diolah masuk ke dalam sungai. Dalam kajian yang dijalankan di lembangan Sungai Marang, pada umumnya didapati terdapat peningkatan kepekatan

kedua-dua nutrien tersebut daripada hilir ke hulu sungai. Berbanding dengan stesen kajian yang lain, kepekatan fosfat yang tinggi direkodkan di stesen-stesen M6, M7 dan M8. Ini besar kemungkinan disebabkan terdapatnya aktiviti-aktiviti pertanian dan penternakan di sekitar stesen tersebut. Penggunaan baja berasaskan fosfat di kawasan pertanian dan ditambah dengan najis ternakan lembu yang mengalir masuk ke stesen kajian menyumbang kepada tingginya kepekatan nutrien fosfat yang dikaji.

Hakisan tanah juga memainkan peranan yang penting menambahkan lagi kepekatan fosfat di kawasan kajian. Fenomena ini jelas sekali diperhatikan di stesen M3 yang terdapatnya aktiviti pengorekan tanah untuk membuat batu-bata. Aktiviti tersebut telah menyebabkan fosfat yang terdapat pada tebing tanah mengalir masuk ke dalam air sungai. Mengikut pengelasan oleh INWQS, stesen kajian menunjukkan kelas I berdasarkan kepada ortofosfat (Jadual 1). Untuk TDP, tiada lagi garis panduan dalam INWQS.



RAJAH 3. Data bagi parameter (a) ortofosfat, (b) TDP, (c) nitrit, (d) nitrat, (e) ammonia, (f) TDN dan (g) klorofil-a di kawasan kajian

NUTRIEN NITROGEN

Daripada kajian yang dijalankan, julat kepekatan nitrit, nitrat, ammonia dan jumlah nitrogen terlarut yang direkodkan masing-masing ialah 0.5-4.1 µg N/L, 65-426 µg N/L, 16-161 µg N/L dan 128-787 µg N/L (Rajah 3). Ujian ANOVA menunjukkan terdapatnya perbezaan yang bererti ($p < 0.05$) antara stesen pensampelan untuk semua sebatian nitrogen yang dikaji. Perbandingan dengan kepekatan yang diperoleh di lembangan Sungai Labu (8-219 µg N/L, 2400-3670 µg N/L dan 460-2820 µg N/L masing-masing bagi nitrit, nitrat dan ammonia) (Lim et al. 2001) dan lembangan Sungai Langat (100-6820 µg/L N bagi ammonia) (Mazlin et al. 2001) menunjukkan kepekatan nutrien nitrogen di Sungai Marang sangat rendah. Kepekatan nutrien nitrogen yang tinggi di dua kawasan kajian berlainan tersebut adalah hasil pencemaran daripada aktiviti industri, pembuangan sampah dan baja pertanian. Besar kemungkinan rendahnya kepekatan nutrien nitrogen di lembangan Sungai Marang kerana tiadanya kawasan perindustrian dan pertanian pula dilakukan pada skala yang kecil.

Dalam kajian di Sungai Marang, umumnya terdapat peningkatan kepekatan untuk keempat-empat nutrien nitrogen apabila bergerak daripada stesen yang terletak di hilir sungai hinggalah ke stesen M4 dan kemudian kepekatan berkurangan semula apabila menghampiri stesen-stesen di hulu sungai. Kepekatan nutrien nitrogen yang tinggi di stesen M4 disebabkan oleh kumbahan yang dihasilkan daripada penempatan penduduk setempat dan daripada kegiatan penternakan ikan seperti bahan kumuhan ikan dan bahan buangan daripada makanan ikan. Sumbangan nutrien nitrogen di stesen M3 mungkin berasal

daripada larian air permukaan daripada aktiviti pengorekan tanah. Pada umumnya, julat kepekatan bagi nitrit, nitrat dan ammonia menunjukkan nutrien-nutrien ini berada dalam kelas I mengikut pengelasan INWQS (Jadual 1). Seperti juga TDP, sehingga sekarang masih tiada lagi garis panduan dalam INWQS untuk nutrien TDN.

KLOROFIL-a

Rajah 3 menunjukkan nilai julat kepekatan klorofil-a untuk semua stesen pensampelan adalah antara 4.06-7.75 µg/L. Terdapat corak peningkatan kepekatan klorofil-a untuk stesen-stesen daripada hilir hingga ke hulu sungai. Dengan kehadiran kandungan nutrien yang tinggi di persekitaran akuatik, kepekatan klorofil-a juga turut bertambah. Dalam kajian ini, didapati sebatian fosfat banyak mempengaruhi taburan klorofil-a jika dibandingkan dengan sebatian nitrogen. Berdasarkan analisis korelasi, klorofil-a didapati mempunyai hubungan yang kuat dengan ortofosfat ($r = 0.8463$; $p < 0.05$) dan TDP ($r = 0.7706$; $p < 0.05$). Sebaliknya, korelasi adalah lemah dengan nitrit ($r = 0.0997$; $p < 0.05$), nitrat ($r = -0.1616$; $p < 0.05$), ammonia ($r = -0.2385$; $p < 0.05$) dan TDN ($r = -0.2385$; $p < 0.05$).

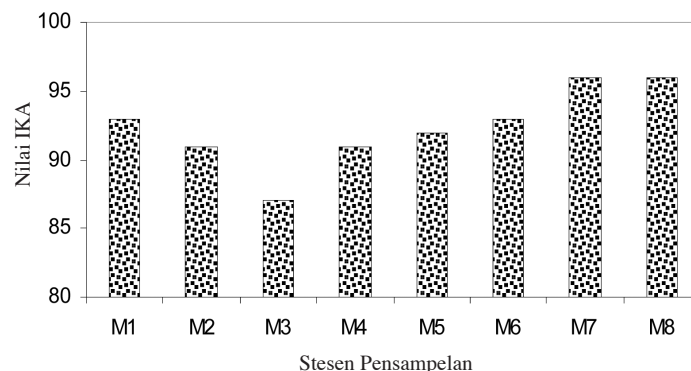
INDEKS KUALITI AIR

Sebanyak enam parameter utama telah digunakan untuk mengira WQI iaitu DO, pH, BOD, COD, TSS dan ammonia (Jadual 2). Untuk setiap stesen, pengiraan WQI telah dibuat bagi setiap tarikh pensampelan dan nilai puratanya adalah seperti dalam Rajah 4. Secara puratanya, julat WQI ialah antara 87 hingga 96 iaitu berada dalam kelas I dengan status

JADUAL 2. Pengiraan kualiti air berdasarkan Indeks Kualiti Air

Subindeks DO (% ketepuan)	
$x \leq 8$	SIDO = 0
$x \geq 92$	SIDO = 100
$8 < x < 92$	$SIDO = -0.395 + 0.03x^2 - 0.0002x^3$
Subindeks BOD (mg/L)	
$x \leq 5$	SIBOD = $100.4 - 4.23x$
$x > 5$	$SIBOD = 108^{-0.055x} - 0.1x$
Subindeks COD (mg/L)	
$x \leq 20$	SICOD = $-1.33x + 99.1$
$x > 20$	$SICOD = 103e^{-0.0157x} - 0.04x$
Subindeks ammonia, AN (mg/L N)	
$x \leq 0.3$	SIAN = $100.5 - 105x$
$0.3 < x < 4$	$SIAN = 94e^{-0.573x} - 5 x-2 $
$x \geq 4$	SIAN = 0
Subindeks TSS (mg/L)	
$x \leq 100$	SITSS = $97.5e^{-0.00676x} + 0.05x$
$100 < x < 1000$	$SITSS = 71e^{-0.0016x} - 0.015x$
$x \geq 1000$	SITSS = 0
Subindeks pH	
$x < 5.5$	SIpH = $17.2 - 17.2x + 5.02x^2$
$x \leq x < 7$	$SIpH = -242 + 95.5x - 6.67x^2$
$7 \leq x < 8.75$	$SIpH = -181 + 82.4x - 6.05x^2$
$x \geq 8.75$	$SIpH = 536 - 77x + 2.76x^2$

$$IKA = 0.22 * SIDO + 0.19 * SIBOD + 0.16 * SICOD + 0.15 * SIAN + 0.16 * SITSS + 0.12 * SIpH$$



RAJAH 4. Purata nilai WQI untuk setiap stesen pensampelan di kawasan kajian

JADUAL 3. Pengelasan kualiti air berdasarkan Indeks Kualiti Air

Parameter	Julat Indeks		
	Bersih	Sedikit tercemar	Tercemar
Indeks Kualiti Air	81-100	60-80	0-59

bersih (Jadual 3). Hasil kajian yang diperoleh ini adalah lebih baik berbanding dengan laporan yang dibuat pada tahun 1999 oleh Jabatan Alam Sekitar dengan nilai purata keseluruhan WQInya ialah 74 (julat 72-75) dengan status sedikit tercemar (JAS 1999). Ini menunjukkan terdapatnya peningkatan kualiti air di kawasan kajian. Keputusan secara umumnya menunjukkan stesen-stesen yang terletak di pertengahan kawasan kajian secara relatifnya mempunyai nilai WQI yang lebih rendah. Nilai WQI di stesen M3 adalah paling rendah berbanding dengan stesen-stesen kajian yang lain. Kepekatan BOD, COD, TSS dan ammonia yang tinggi sementara nilai DO yang rendah banyak menyumbang kepada kemerosotan kualiti air di stesen M3 ini.

KESIMPULAN

Daripada kajian yang telah dijalankan di lembangan Sungai Marang, didapati status kualiti airnya adalah pada tahap kelas I dengan status bersih. Nutrien-nutrien yang dikaji pula berada dalam kelas I dan II mengikut pengelasan INWQS. Aktiviti penternakan ikan dalam sangkar, pembuangan sisa-sisa domestik, pengorekan tanah di tebing sungai dan penggunaan baja fosfat di kawasan pertanian mempengaruhi taburan parameter kajian. Hasil kajian ini menunjukkan perlunya pemantauan dilakukan secara berterusan terhadap lembangan sungai ini supaya kebersihannya dapat dikekalkan.

PENGHARGAAN

Penyelidik ingin merakamkan penghargaan kepada Jabatan Sains Kimia, Universiti Malaysia Terengganu kerana telah membiayai penyelidikan ini melalui Projek Ilmiah Tahun Akhir. Terima kasih kepada Mohd Riduan Azmi Mohd Alwi dan Mohd Sabri Husin atas pengumpulan data. Tidak

lupa juga kepada pewasit yang telah memberi pandangan untuk menambahbaik lagi kertas ini.

RUJUKAN

- APHA (American Public Health Association). 1995. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Ed ke 19. Washington: APHA, AWWA and AWPFC.
- Brewer, W.S., Abernathy, A.R. & Paynter, M.J.B. 1977. Oxygen consumption by freshwater sediments. *Water Research* 11: 471-473.
- David, R.A. Jr. 1972. *Prinsip-prinsip Oseanografi*. Terj. Patimah, I & Mohd. Nasir, S. Serdang: Universiti Putra Malaysia.
- Fisher, T.R., Carlson, P.R. & Barber, R.T. 1982. Sediment nutrient regeneration in three north Carolina estuaries. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 14: 101-116.
- Grasshoff, K., Ehrhardt, M. & Kremling, K. 1983. *Methods of Seawater Analysis*. Second, Revised & Extended Edition. Weinheim: Verlag Chemie.
- JAS (Jabatan Alam Sekitar). 1999. *Malaysia Environmental Quality Report*. Department of Environment, MOSTE, Malaysia.
- Jaworski, N.A. 1981. Sources of nutrients and the scale of eutrophication problems in estuarine. In *Estuaries and Nutrients*, edited by Neilson, B.J. & Cronin, L.E. New Jersey: Humana Press.
- Lim, S.H., Abdullah, S. & Mohd Rozali, O. 2001. Kesihatan ekosistem Sungai Labu dari aspek kualiti airnya. *Malaysian Journal of Analytical Sciences* 7: 157-168.
- Mazlin, M., Ismail, B. & Agnes, P. 2001. Kualiti air di sekitar Kawasan Perindustrian Balakong, Lembangan Langat. *Malaysian Journal of Analytical Sciences* 7: 129-138.
- Silva, A.M.M.D. & Sacomani, L.B. 2001. Using chemical dan physical parameters to define the quality of Pardo River water (Botucatu-Sp-Brazil). *Water Research* 35: 1609-1616.
- Suratman, S., Mohd Tahir, N. & Tong, S.L. 1999. Distribution of nutrients in the Selangor River estuary, Malaysia. *ACGC Chemical Research Communications* 8: 5-11.

Suratman, S., Mohd Tahir, N., Jusoh, S.R. & Mohd Ariffin, M. 2005. Penilaian kesan antropogenik terhadap kualiti air di Tanah Bencah Setiu, Terengganu. *Sains Malaysiana* 34: 87-92.

Suratman, S., Awang, M., Loh, A.L. & Mohd Tahir, N. 2009. Kajian indeks kualiti air di lembangan Sungai Paka, Terengganu. *Sains Malaysiana* 38: 125-131.

Suhaimi Suratman* & Norhayati Mohd Tahir
Institut Oseanografi & Sekitaran (INOS)
Universiti Malaysia Terengganu
21030 Kuala Terengganu, Terengganu
Malaysia

Suhaimi Suratman* & Norhayati Mohd Tahir
Kumpulan Penyelidikan Alam Sekitar (ERG)
Jabatan Sains Kimia
Fakulti Sains dan Teknologi
Universiti Malaysia Terengganu
21030 Kuala Terengganu, Terengganu
Malaysia

*Pengarang untuk surat-menyurat; email: miman@umt.edu.my

Diserahkan: 1 Ogos 2012
Diterima: 4 Oktober 2012